

# 滇中大姚六苴铜矿成矿规律及找矿靶区圈定

谢金云<sup>1</sup> 尹佳明<sup>2</sup>

(1. 腾冲市恒益矿产品经贸有限责任公司; 2. 云南铜业矿产资源勘查开发有限公司)

**摘要** 通过对滇中“红层”地区以往地质资料的综合分析,结合六苴铜矿成矿地质条件、地球化学探测成果、矿化特征、控矿因素等的研究,在矿区有针对性地开展广域电磁法地球物理探测。研究结果表明:矿床中铜矿化总体受地层岩性控制,马头山组长石石英砂岩是主要的赋矿岩性;矿区高峰寺组凹地苴段和马头山组六苴段地层中具有高 Cu、Ag 含量,地球化学异常总体呈 NNE—NE 向,与矿体走向一致;3 条地质剖面的地球物理探测成果与宏观地质特征吻合度较高,高峰寺组凹地苴段中构造夹持部位是有利的成矿部位,深部找矿潜力优越,共在矿区内圈定 2 个成矿靶区。

**关键词** 铜矿 矿化特征 广域电磁法 找矿潜力

DOI:10.3969/j.issn.1674-6082.2023.12.008

## Metallogenic Regularity and Prospecting Target Delineation of Liuju Copper Deposit in Dayao County, Central Yunnan Province

XIE Jinyun<sup>1</sup> YIN Jiaming<sup>2</sup>

(1. Tengchong Hengyi Minerals Economic and Trade Co., Ltd.;

2. Yunnan Copper Mineral Resources Exploration Co., Ltd.)

**Abstract** Based on the comprehensive analysis of the previous geological data in the 'red bed' area of central Yunnan, combined with the research on the metallogenic geological conditions, geochemical exploration results, mineralization characteristics and ore-controlling factors of Liuju copper deposit, the geophysical exploration of wide-area electromagnetic method was carried out in the mining area. The results show that the copper mineralization in the deposit is generally controlled by stratigraphic lithology, and the feldspar quartz sandstone of Matoushan Formation is the main ore-bearing lithology. There are high Cu and Ag contents in the strata of the Aodiju section of the Gaofengsi Formation and the Liuju section of the Matoushan Formation in the mining area. The geochemical anomalies are generally NNE-NE, which is consistent with the trend of the ore body. The geophysical exploration results of the three geological sections are in good agreement with the macroscopic geological characteristics. The structural clamping site in the concave section of the Gaofengsi Formation is a favorable metallogenic site, and the deep prospecting potential is superior. Two metallogenic target areas are delineated in the mining area.

**Keywords** copper ore, mineralization characteristics, wide-area electromagnetic method, prospecting potential

地球物理勘探可利用各地质体的电性差异进行分区,每一种划分方法都是基于地质体的某种属性开展,具有一定的局部性和片面性,这也是物探成果具有多解性的根本原因<sup>[1-5]</sup>。因此,在工作实际中,多结合地质勘查、钻探工程及地球物理化学等手段对找矿成果进行综合解译,是减少多解性的有效途径,

也在深部找矿工作中得到广泛应用<sup>[6-7]</sup>。六苴铜矿位于云南大姚县六苴镇,是滇中楚雄盆地的典型层控型矿床。目前,该矿山已开采多年,浅部资源已消耗殆尽,探寻深部隐伏矿(化)体是矿山主要的工作目标。鉴于地球物理方法探测深度大、控制范围广,故本次研究将地球物理探测方法作为主要找矿手段,

谢金云(1993—),男,助理工程师,679100 云南省腾冲市。

通信作者 尹佳明(1992—),男,助理工程师,650051 云南省昆明市。

力求在矿区深部取得新的找矿突破。

## 1 成矿地质背景

楚雄盆地在平面上表现为北宽南窄的楔形,是整体位于滇中地区的大型中、新生代的沉积-构造盆地,隶属于扬子地台西缘的康滇地轴南侧,总体呈东、西两侧隆起而中间拗陷的构造格局<sup>[8-11]</sup>,最终演化为现今“南北分块”“东西对冲”的构造格局。根据区域地质构造演化特征,区内地层自上而下可划分为3个构造层:①上部构造层自中生界到新生界均有发育,构成了断陷盆地的主要部分,自下而上亦形成3种含矿建造;②中部构造层是被动大陆边缘的重要组成部分,地层自晚元古界至古生界均有出露,隐伏于盆地的褶皱基底之上,或分布于盆地四周,该构造层发育的玄武岩含铜背景值较高,推测其为晚期喷发期的产物,构成盆地次要的矿源层;③下部构造层为沉积盆地的刚性基底,该构造层发育大量的Cu、Fe、Zn等金属矿床,构成楚雄中—新生代盆地型砂岩铜矿的初始矿源层。

## 2 矿区地质特征

### 2.1 地 层

区内主要出露白垩系下统地层,地层层序清晰,自下而上分别为高峰寺组( $K_{1g}$ )、普昌河组( $K_{1p}$ )、马头山组( $K_{2m}$ )及江底河组( $K_{2j}$ )<sup>[12]</sup>。白垩系下统高峰寺组纳么段( $K_{1gz}$ )紫红色砂质泥岩及凹地直段( $K_{1gw}$ )中细粒长石石英砂岩出露于矿区顶部。普昌河组( $K_{1p}$ )以紫红色泥岩夹粉砂泥岩、泥质粉砂岩为主,劈理构造发育,风化后呈片状、梳状,以钙泥质胶结为主。

马头山组( $K_{2m}$ )作为矿床的主要含矿层位,可细分为3个亚段:六苴下亚段( $K_{2ml}^1$ )是以灰色、浅灰色长石石英砂岩为主的浅色层,含砂砾岩、粗砂岩及砾岩等,局部发育紫棕色的长石石英砂岩,该层位是六苴铜矿的重要赋矿层,与下伏的普昌河组( $K_{1p}$ )界限清晰;六苴中亚段( $K_{2ml}^2$ )为泥岩及紫红色砂岩互层段,是矿区的次要含矿层位,偶见长石石英砂岩及细砂岩,层理发育;六苴上亚段( $K_{2ml}^3$ )以紫红色厚层状泥岩为主,夹粉砂岩、细砂岩,该层的顶部演变为浅色(灰绿色、浅灰色)的粉砂质泥岩,层内发育大量石膏、晶洞。大村段岩性以灰色、灰绿色粉砂质泥岩、泥岩为主,顺层理发育条带状墨绿色、黑色炭质泥岩石膏,偶见稀疏浸染状斑铜矿、黄铜矿及黄铁矿。

### 2.2 构 造

大雪山复式背斜构成矿区的骨架构造,其轴向由么社底簸的NW向往南逐步转为SN—NW向倾没于界牌附近,倾角 $10^\circ\sim 30^\circ$ ,在石门坎地段倾角变陡

( $40^\circ\sim 80^\circ$ ),区内凹石门坎、火箭山、地苴、落及木乍及六苴等矿点均分布于主背斜西翼的矿化带。

受区域构造的影响,区内断裂构造发育,可大致划分为NW向、近EW向和近SN向3组:近NW向压扭性断裂形成时代较早,集中分布于矿区西北端的普昌河组( $K_{1p}$ )及江底河组( $K_{2j}$ )之间,多为顺层滑动或小角度相切,造成矿体呈阶梯式下降;近EW向断裂产状在NNW向—近EW向—NEE向变化,对矿(化)体有明显的破坏作用,破碎带附近的岩体中偶见铜矿化;近SN向断裂倾角变化较大( $25^\circ\sim 65^\circ$ ),总体与大雪山背斜轴近于平行,多为褶皱同期构造,规模较小但成群出现,常见辉铜矿呈密集散点状和脉状产出,矿化富集作用显著,局部地段Cu品位高达10.0%,对于矿体的富化具有积极意义。

## 3 矿床地质特征

### 3.1 矿体地质特征

六苴矿床总体上呈缓倾斜状向深部延伸,在空间上展现为半环带状,产状总体呈缓倾斜状,与地层产状基本一致( $240^\circ\angle 30^\circ$ ),呈层状、似层状产出,形态相对简单,紫色岩层在剖面西侧呈分枝状或楔形,偶见交替状尖灭,灰白色岩性段则作“燕尾”式赋存于紫色层中分枝复合至逐渐尖灭。

I号主矿体是矿床内规模最大的工业矿体,走向延长约3 000 m,宽150~450 m,厚度变化较大(1~36 m),平面上形似一条带子,沿端州方向中间厚、两侧薄。该矿体在纵剖面上则呈“鱼头”状尖灭于六苴下亚段( $K_{2ml}^1$ )的紫色砂岩中,东侧呈“燕尾”状分枝尖灭于六苴下亚段( $K_{2ml}^1$ )的浅色砂岩中(图1)。该矿体沿NW向侧伏,至1 700 m处宽度急剧收缩仅百余米,平均品位1.08%。II号矿体整体产于I号矿体的北段,受断层错动的影响而在地表出露宽度仅3.3 m,规模较之I号矿体小。

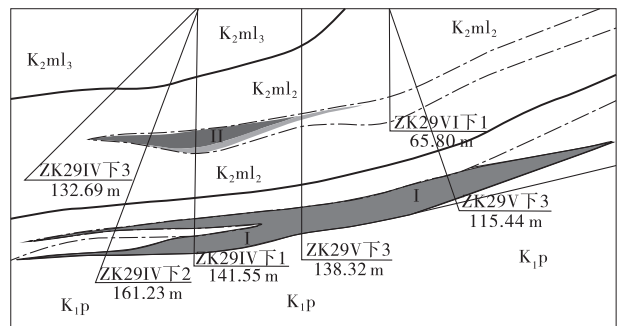


图1 29号勘探线剖面

### 3.2 矿化控制因素

六苴铜矿床总体为滇中沉积成岩—后生改造成因,其成矿物质主要源自楚雄盆地东侧的元谋古陆的富铜矿石经风化、迁移至盆地形成紫色矿源层富

集,经后期喜山运动形成大量富集<sup>[13-15]</sup>,严格受地层、岩性的控制,并具有显著的时空成矿性:①矿化总体出露于白垩系下统高峰寺组凹地直段( $K_{1gw}$ )和上统马头山组六苴段( $K_{2ml}$ );②矿床在空间上距离元谋古陆 10~30 km,在利于成矿的沉积地层中发育了一定规模的浅色岩石,可见卤水改造痕迹。

### 3.3 矿石矿物特征

矿床内主要金属矿物为辉铜矿,次为黄铜矿、斑铜矿,氧化物以孔雀石为主,并含极少数的硅孔雀石、铜蓝、赤铜矿等。辉铜矿多产于砂粒边缘,亦或镶嵌于砂粒胶结物中,偶呈断续状嵌布于水平层理中,极少数富集于泥质物、砂质物边缘中。斑铜矿则主要呈星散状嵌布于胶结物中,多余辉铜矿、黄铜矿伴生,可看到格子状、亚文象状及粒状连晶。氧化带中多发育孔雀石,多呈薄膜状发育,或与辉铜矿呈包

裹体连生,仅极少数脉状体充填于裂隙之中。脉石矿物以长石、石英、方解石为主,含少量石膏和白云石等。

### 4 区域地球化学特征

前人通过研究发现利用化探手段的原生晕 Cu、Ag、Pb 分带标志可指示一定深度范围内隐伏铜矿体的存在,在矿区内反映为矿体沿含矿层在埋深 200 m 对应地面含矿层<sup>[16-17]</sup>。根据地球化学探测手段,六苴矿床元素在空间上具有显著的分布规律:①自东向西横向元素分带为 Zn-Pb→Ag-Sb-Co-Ni→Cu-Ag-As-Sb-Hg-Pb→V-Hg→Sb-Hg;②自北向南纵向分带为 Cu-As-Sb-Hg→Cu-Ag-As-Sb-Hg→Cu-Ag-As-Hg→Cu-Ag-As-Sb-Hg-Ni;③垂向分带以矿体为界,矿体上方为 Co-Ni-V 组合异常,矿体处为 Cu-Ag-As-Sb-Hg 组合异常,矿体下方为 Pb-Zn 异常(图 2)。

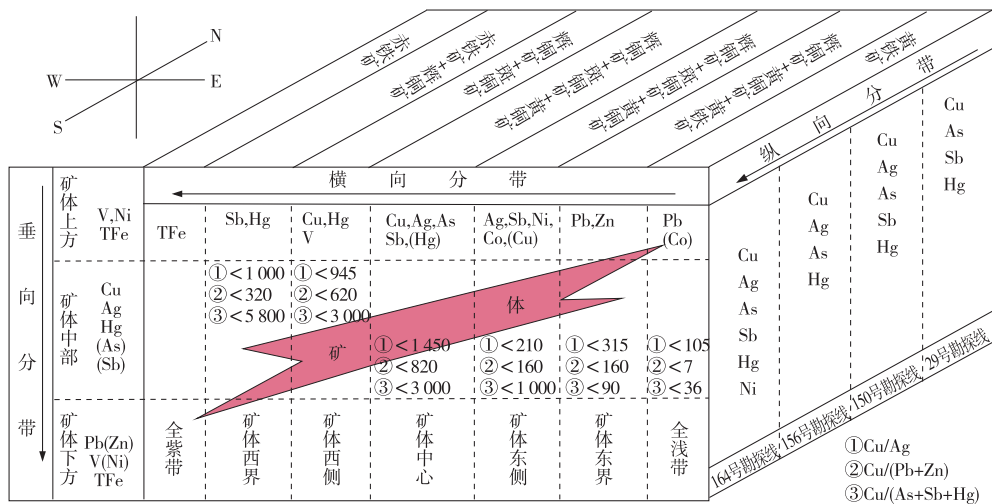


图 2 六苴铜矿地球化学元素组合分带模式

本次研究对高峰寺组至江底河组地层中 284 件样品进行测试分析,所有样品中 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、V、As 含量总体较低,在江底河组灰绿色泥岩及高峰寺组长石石英砂岩中显示出较高的 Cu、Ag 异常,这与矿体赋存于凹地直段和刘直段的宏观地质特征相符。此外,地球化学异常整体呈 NNE—NE 向,与研究区矿体走向一致。

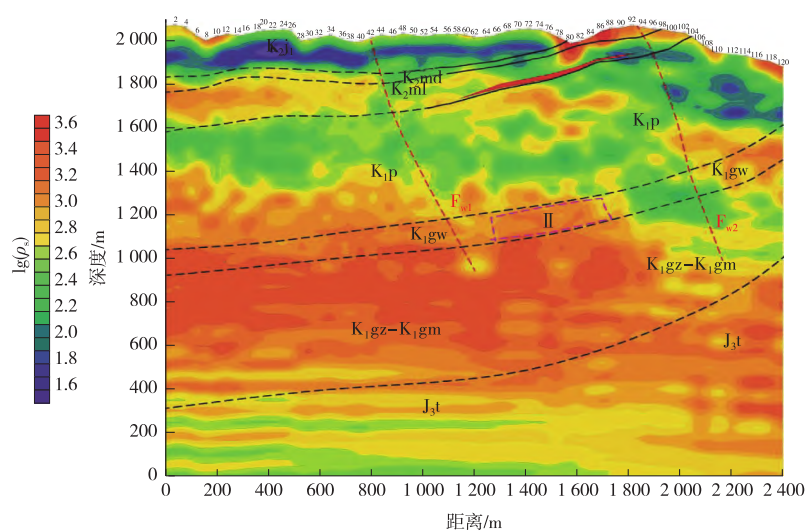
### 5 综合地球物理特征

本次研究利用广域电磁法对布置的 35 线、16 线和 64 线 3 条剖面进行 WFEM 测量,各剖面测量成果:①16 线剖面的凹地直段( $K_{1gw}$ )整体电阻率特征为中高阻—高阻,推测断层  $F_{w1}$  出露于 40 号点附近,该断层造成了断层下盘抬升,鉴于 16 号勘探线控制的六苴下亚段( $K_{2ml}$ )往南、北两端均有延伸,推测该延伸地段存在一定的找矿空间,故 16 线 II 号成矿有利带位于推测的白垩系下统高峰寺组凹地直段( $K_{1gw}$ ) $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  夹持部位,长 500 m、宽 200 m,距地表约 1 000

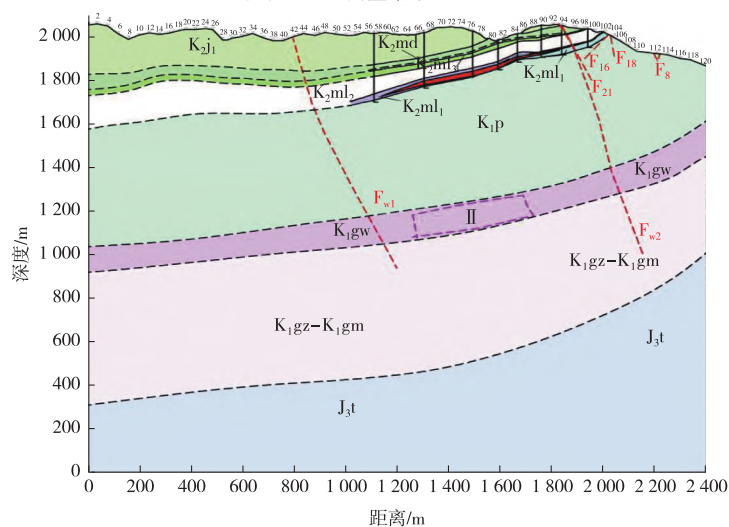
m(图 3);②64 线剖面的高峰寺组纳么段( $K_{1gz}$ )和美宜坡段( $K_{1gm}$ )整体电阻率特征为中高阻—高阻, $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  出露于 20、62 号点附近,1 号有利成矿带位于白垩系下统高峰寺组凹地直段( $K_{1gw}$ ) $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  夹持部位,长 300 m、宽 180 m,距地表约 950 m;③35 线剖面的高峰寺组纳么段( $K_{1gz}$ )和美宜坡段( $K_{1gm}$ )整体电阻率特征为中低阻—中高阻, $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  出露于 30、72 号点附近,III 号有利成矿带位于白垩系下统高峰寺组凹地直段( $K_{1gw}$ ) $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  夹持部位,长 400 m、宽 170 m,距地表 1 000 m。

总体而言,本次开展的 3 条剖面地球物理解译与宏观地质特征吻合度较高,基本反映出矿区内地层展布情况,地层整体倾向西、靠近大雪山背斜部倾角较陡,随着远离背斜而倾角逐渐变缓为近似水平,深部的赋矿层位凹地直段( $K_{1gw}$ )较为稳定,推测标高位于 900~1 100 m,具有较好的容矿空间;各剖面均反映出矿区内存在  $F_{w1}$ 、 $F_{w2}$  2 条断裂,均倾向 NE,倾角 70°





(a) WFEM测量结果



(b) 对照地质剖面图






$K_{2j1}$ —白垩系上统江底河组六苴后山段;  $K_{2md}$ —白垩系上统马头山组大村段;  $K_{2ml}$ —白垩系上统马头山组六苴段上亚段;  
 $K_{2ml2}$ —白垩系上统马头山组六苴段中亚段;  $K_{2ml1}$ —白垩系上统马头山组六苴段下亚段;  $K_{1p}$ —白垩系下统普昌河组;  $K_{1gw}$ —白垩系下统高峰寺组凹地苴段;  
 $K_{1gz-K1gm}$ —白垩系下统高峰寺组者纳么段至美宜坡段;  $J_{3t}$ —侏罗系上统妥甸组; ————地质界线; - - - - - 平行不整合界线;  $F_{16}$ —断层及编号;  $F_{21}$ —钻孔编号;  
—工业矿体; —低品位矿体; —广域测点及编号; —推测地层界线; —推测断层

图 3 16线WFEM测量成果

左右,二者的夹持部位可为热液提供运移通道;白垩系下统高峰寺组凹地苴段( $K_{1gw}$ )作为有利的成矿层位,其在构造附近部位发生蚀变的可能性极大,为重点成矿靶区。

## 6 找矿靶区

根据本次地球物理广域反演结果看出,物探手段的地层划分及断层推测一致性较好。由于断层对部分地层造成了错动,故本次结合化探、物探解译成果圈定了2个有利成矿区(图4)。其中,浅部的江底河组、大村段和普昌河组的为低阻体,电阻率一般为几十至几百兆;下部的六苴段为高阻体,电阻率几百至几千兆,电阻率变化区是该区最有利的找矿部位。

## 7 结论

(1)矿区高峰寺组凹地苴段和马头山组六苴段

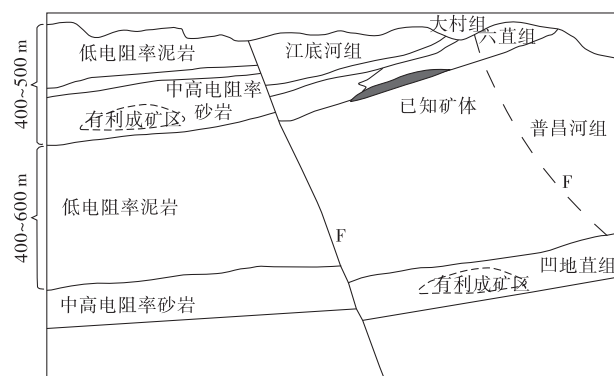


图 4 六苴矿区地球物理找矿模型

地层中具有高的Cu、Ag含量,是矿区重要的赋矿层位,下部的江底河组下部灰绿色泥岩中也具有较高的Cu、Zn、Ag含量,可能是深部六苴段成矿信息的地表反映,是有利的找矿地段。

(2)六苴矿床成矿地质体为特定的岩相组合、地质构造及深部盆地流体的产物,地球物理工作有效揭示了矿区深部地层延伸情况,并提出具有高阻和低阻转化带是有成矿的有利空间。

(3)建立了六苴矿床成矿模型和地球物理找矿模型,并圈定重点找矿靶区2个,分别位于六苴矿段西向延伸部位及下伏白垩系下统高峰寺组凹地苴段构造夹持部位。

#### 参 考 文 献

- [1] 沈宁.基于物探方法在金属矿找矿中的应用及发展趋势[J].世界有色金属,2018(24):179-181.
- [2] 张吉凯,赵锐.物探技术在地质找矿与资源勘查中的应用[J].中国金属通报,2020(2):12-14.
- [3] 赵雪娟,孙中任,李明阳.综合物探方法在锰矿勘查中的应用[J].地质与资源,2013,22(3):233-237.
- [4] 张宝林,吕古贤,余建国,等.矿田构造变形岩相带的地球物理资料解译与找矿应用[J].地质力学学报,2021,27(4):542-556.
- [5] 焦彦杰,黄旭日,李光明,等.藏南扎西康矿集区深部结构与成矿:来自地球物理的证据[J].地球科学,2019,44(6):2117-2128.
- [6] 徐文武,张志静,陈金苗.综合物探、化探、地质方法在安徽东至铅锌多金属矿的应用[J].矿产勘查,2018,9(11):2216-2225.
- [7] 袁桂琴,杨少平,米宏泽,等.物探化探技术标准体系研究有关问题的探讨[J].物探与化探,2015,39(6):1267-1270.

- [8] 吴鹏,谭茂,韩润生,等.滇中楚雄盆地六苴铜矿床煌斑岩地球化学、年代学及其地质意义[J].岩石学报,2020,36(5):1409-1425.
- [9] 张聪,石砥石,张子亚,等.云南楚雄盆地西部高精度重磁特征及基底特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(3):863-871.
- [10] 姜磊,邓宾,刘树根,等.上扬子盆地新生代差异抬升剥蚀与分异过程[J].地球科学,2018,43(6):1872-1886.
- [11] 刘玲,张明华,王平,等.复杂盆地地球物理-地质结构模型的构建-重磁地震综合解释在楚雄盆地勘探中的应用[J].地球物理学报,2018,61(12):4921-4933.
- [12] 吴海枝,韩润生,吴鹏.楚雄盆地六苴砂岩型铜矿床成矿流体性质及演化[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(2):398-411.
- [13] 胡煜昭,韩润生,闵朝龙,等.楚雄盆地六苴铜矿含矿岩系沉积演化、成矿时代及成矿深度分析[J].世界地质,2010,29(2):218-225.
- [14] 吴海枝,韩润生,邱文龙,等.楚雄盆地六苴铜矿容矿砂岩孔隙演化对成矿的制约[J].沉积学报,2015,33(3):512-523.
- [15] 吴海枝,韩润生,吴鹏.楚雄盆地六苴铜矿床两期成矿流体来源的C-O同位素示踪[J].矿物学报,2015,35(s1):630-631.
- [16] 杨金富,和浪涛,周仕雄,等.云南大姚六苴铜矿地质特征及找矿方向[J].金属矿山,2017(5):104-110.
- [17] 邹海俊,韩润生,方维莹,等.大姚六苴砂岩型铜矿区构造岩矿物岩石学特征与地质意义[J].矿物学报,2017,37(5):528-535.

(收稿日期 2023-05-17)

(上接第39页)的疏干时间,矿坑疏干排水是个长期的过程。

(4)矿区主要为中等—较强富水的碳酸岩裂隙岩溶含水岩组,矿区主要含水层岩性为灰质白云岩、白云质灰岩,是矿床主要的和直接充水的含水岩组,其富水性为中等至较强,这一特性与涌水量预测结果相符。

#### 4 结 语

(1)矿床内地下水储量较丰富,矿体顶板岩性为三叠系中统徐家山组( $T_2x$ ),其溶洞、溶蚀裂隙局部较发育,含水层局部连通性透水性较好,是矿区主要充水层,虽然多数岩心较完整,但岩石多为半坚硬,其强度不高,局部岩体较破碎,在破碎带、矿岩接触带、围岩接触带两侧、岩体松软破碎地带等出现涌水点的频率较高,极易发生突发性涌水、冒顶、片帮事故,矿山开采过程中应采取防范措施,可采用先探后采方法掘进。

(2)通过抽水试验与涌水试验结果对比分析,求得矿区渗透系数  $K=0.78\text{ m/d}$ ,计算涌水量  $Q=61\ 345\text{ m}^3/\text{d}$ ,预测结果具有一定参考性,可为矿山未来开采设计提供参考依据。

(3)矿区存在定水头、常量补给边界,采取强行疏干排水,虽能在一定时间范围内形成局部的疏干空间,但实际上不太可能出现地下水位被疏干至矿层底板的现象。在生产过程中,若井巷出现突水现象,应及时采取措施堵治水;若是有透水预兆或其他异常现象,建议立即停工探明原因。建议矿山结合已有观测孔,建立长期地下水位动态监测网,进一步查明各含水层之间的水力联系问题以及地下水位动态变化规律等。

#### 参 考 文 献

- [1] 洪建民,陆中秋,洪瑞,等.安徽省无为县小王家矿区铁矿勘探地质报告[R].马鞍山:安徽省地质矿产勘查局322地质队,2012.
- [2] 刘雪美.金龙铁矿给排水系统优化设计研究[D].合肥:合肥工业大学,2017.
- [3] 鄢月亮.安徽芜湖市施墩铁矿成矿特征及开采技术探讨[J].西部资源,2020(4):10-11,14.
- [4] 李月先,刘允秋,武飞.上向水平分层尾砂胶结充填法在施墩铁矿的应用[J].现代矿业,2016,32(9):53-56.
- [5] 李凯,黄涛.安徽芜湖小六房铁矿地质特征及成矿模式[J].现代矿业,2017,33(5):84-89,95.

(收稿日期 2023-05-26)